

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公告

⑫ 特 許 公 報 (B 2)

昭60-23282

⑬ Int. Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公告 昭和60年(1985)6月6日

G 01 B 11/00
G 01 D 5/387625-2F
6781-2F

発明の数 2 (全8頁)

⑮ 発明の名称 相対変位測定装置

⑯ 特 願 昭50-31737

⑰ 公 開 昭50-136057

⑱ 出 願 昭50(1975)3月14日

⑲ 昭50(1975)10月28日

優先権主張 ⑳ 1974年3月15日㉑ イギリス(GB)㉒ 11598/74

㉓ 1974年10月14日㉔ イギリス(GB)㉕ 44522/74

㉖ 発 明 者 レナド アルフレッド イギリス国、スコットランド、グラスゴウ、アーマンド・セイス ドライヴ・11

㉗ 発 明 者 ロバート・マーティン・ペティグリュウ イギリス国、スコットランド、カールーク、ゴアマイア・ロード・110

㉘ 出 願 人 ナショナル・リサーチ・デイベロッパメント・コーポレーション イギリス国、ロンドン・エス・ダブリュ1、ヴィクトリア・ストリート・66-74

㉙ 代 理 人 弁理士 川口 義雄

審 査 官 津 田 俊 明

㉚ 参 考 文 献 特開 昭48-29464 (JP, A)

特開 昭48-14348 (JP, A)

特公 昭40-2988 (JP, B1)

特開 昭48-60959 (JP, A)

特開 昭50-40156 (JP, A)

1

2

⑳ 特許請求の範囲

1 一つの平面内での自由度1の運動に対応する様態での第二部材に対する第一部材の相対変位を測定するための装置であつて、

距離 u だけ一様に離れて夫々が第一及び第二部材に対して固定位置に設けられており、前記運動方向に夫々周波数 f_1 及び f_2 (ただし $f_1 > f_2$) で空間的に周期的に線を有している第一及び第二の格子と、

$f_2/f_1 = V/(u+v)$ で規定される距離 v だけ第一の格子から一様に離れたところに、 $f_2/f_1 = u/(u+v)$ で規定される周波数 F_2 で前記方向に空間的に周期的であり、第一及び第二部材間に前記様態での運動が生じた際第二部材に対して前記様態で動く、光学的物体としての第二の格子の影の実像を第一の格子によつて生ぜしめるべく、 f_1 及び f_2 とは比較にならない程高い周波数のコリメートされていない光で第二の格子を照らす照射手段と、

第一及び第二部材間に相対運動が生じた際出力に周期的変化を生ずるように、実質的に f_2 の周波数で空間的に周期的であり第一の格子から実質的に v 離れて第二部材に対して固定位置に設けられた構造体を有しており、前記像に応答する光検出器手段と

を有する相対変位測定装置。

2 一つの平面内での自由度1の運動に対応する様態での第二部材に対する第一部材の相対変位を測定するための装置であつて、

距離 u だけ一様に離れて夫々が第一及び第二部材に対して固定位置に設けられており、前記運動方向に夫々周波数 f_1 及び f_2 (ただし $2f_1 > f_2$) で空間的に周期的に線を有している第一及び第二の格子と、

$f_2/f_1 = 2V/(u+V)$ で規定される距離 V だけ第一の格子から一様に離れたところに、 $F_2/f_1 = 2u/(u+V)$ で規定される周波数 F_2 で前記方向に空間的に周期的であり、第一及び第二部材

3

間に前記様態での運動が生じた際第二部材に対して前記様態で動く、光学的物体としての第二の格子の回折実像を第一の格子によつて生ぜしめるべく、 f_1 及び f_2 に匹敵する程度の周波数であり、第一の格子のピッチを w とした場合最大波長 λ_m が

$u \geq w^2 / 2 \lambda_m$ で規定されるコリメートされていない光で第二の格子を照らす照射手段と、
第一及び第二部材間に相対運動が生じた際出力に周期的変化を生ずるように、実質的に F_2 の周波数で空間的に周期的であり第一の格子から実質的に V 離れて第二部材に対して固定位置に設けられた構造体を有しており、前記像に応答する光検出手段と

を有する相対変位測定装置。

発明の詳細な説明

本発明は一平面に於ける自由度1の直線運動又は回転運動に対応する様態での第一部材の第二部材に対する変位を測定する装置に係り、より詳細には、度量衡的格子 (metrological grating) を利用するこの種の装置に係る。

この種の種々の装置が工作機械の制御等の分野に使用されている。従来のこの種の装置は、相対変位を測定すべき第一及び第二部材の夫々に対して固定位置に設けられた同一周波数又はほぼ同一周波数の一対の格子を有する。この一対の格子のうちの一方の格子は透過性であり、他方の格子は透過性又は反射性である。一対の格子の組合体は適当な光源で照射される。更に、二つの格子の相対運動に応じて変化する格子の組合体による透過又は反射光の変化に応答する手段が設けられている。

この従来の装置には設計上乃至使用上多くの問題がある。特に高度にコリメートして格子系を照射する必要があり、格子間の間隔を非常に正確に維持する必要があり、ときには格子間の間隔を非常に小さくする必要がある。細かい格子を使用する場合、特にこれらの問題が避け難い。一般には測定に必要な分解能を直接与える格子より粗い格子が使用され、必要な精度乃至分解能の結果を得るべく補間法が用いられるが、この補間自体が誤差の原因になる虞れがある。

本発明は前記した点に鑑みなされたものであり、その目的とするところは、空間的に周期的な光学的物体 (すなわちコリメートされていない光

4

を出す) に対する格子の光学的結像特性を利用するという考え方に立脚して、前記した問題点の少なくとも一部を解決し得、補間法を用いることなくしても所望の分解能を有する比較的簡単で容易に製造され得る相対変位測定装置を提供することにある。

前記考え方に従う本発明の相対変位測定装置は、原理的には、

一つの平面内での自由度1の運動に対応する様態での第二部材に対する第一部材の相対変位を測定するための装置であつて、

相互に実質的に一様な間隔となるように夫々が第一及び第二部材に対して固定位置に設けられており、前記運動方向に空間的に周期的に線を有している第一及び第二の格子と、

第二の格子をコリメートされていない光で照らす照射手段と、光検出手段とからなり、

前記第一及び第二の格子並びに前記照射手段は、第二の格子によつて規定された空間的に周期的な光学的物体の、前記運動方向に空間的に周期的であり且つ第一の格子から実質的に一様に離間した実像が前記第一の格子によつて形成されるように、且つ

第一及び第二部材間に前記相対運動が生じた際、前記実像が一つの平面内での自由度1の運動に応じて第二部材に対して相対運動するように配置されており、

前記光検出器手段は、前記第二部材に対して固定位置に設けられた前記運動方向に空間的に周期的な構造体を有しており、前記実像を形成している光を受け取るべく構成されており、且つ第一及び第二部材間に前記相対運動が生じた際、前記構造体が前記像と相互作用して光検出手段の出力が周期的に変動するように構成されている、相対変位測定装置からなる。

前記原理に基づく本発明のうち、實際上光の回折を無視し得、光学的物体の影の実像を形成するような格子を用いる第一発明によれば、前記目的は、

一つの平面内での自由度1の運動に対応する様態での第二部材に対する第一部材の相対変位を測定するための装置であつて、

距離 u だけ一様に離れて夫々が第一及び第二部材に対して固定位置に設けられており、前記運動

5

方向に夫々周波数 f_1 及び f_2 (ただし $f_1 > f_2$)で空間的に周期的に線を有している第一及び第二の格子と、

$f_2/f_1 = v/(u+v)$ で規定される距離 v だけ第一の格子から一様に離れたところに、 $f_3/f_1 = u/(u+v)$ で規定される周波数 f_3 で前記方向に空間的に周期的であり、第一及び第二部材間に前記様態での運動が生じた際第二部材に対して前記様態で動く、光学的物体としての第二の格子の影の実像を第一の格子によつて生ぜしめるべく、 f_1 及び f_2 とは比較にならない程高い周波数のコリメートされていない光で第二の格子を照らす照射手段と、第一及び第二部材間に相対運動が生じた際出力に周期的変化を生ずるように、実質的に f_3 の周波数で空間的に周期的であり第一の格子から実質的に v 離れて第二部材に対して固定位置に設けられた構造体を有しており、前記像に应答する光検出器手段とを有する相対変位測定装置によつて達成される。

更に、前記原理に基づく本発明のうち、光学的物体の回折実像を形成する格子を用いる第二発明によれば、前記目的は、

一つの平面内での自由度1の運動に対応する様態で第二部材に対する第一部材の相対変位を測定するための装置であつて、

距離 u だけ一様に離れて夫々が第一及び第二部材に対して固定位置に設けられており、前記運動方向に夫々周波数 f_1 及び f_2 (ただし $f_1 > f_2$)で空間的に周期的に線を有している第一及び第二の格子と、

$f_2/f_1 = 2V/(u+V)$ で規定される距離 V だけ第一の格子から一様に離れたところに、 $F_3/f_1 = 2u/(u+V)$ で規定される周波数 F_3 で前記方向に空間的に周期的であり、第一及び第二部材間に前記様態での運動が生じた際第二部材に対して前記様態で動く、光学的物体としての第二の格子の回折実像を第一の格子によつて生ぜしめるべく、 f_1 及び f_2 と同程度の周波数であり、第一の格子のピッチを w とした場合最大波長 λ_m が $u \geq w^2/2\lambda_m$ で規定されるコリメートされていない光で第二の格子を照らす照射手段と、

第一及び第二部材間に相対運動が生じた際出力に周期的変化を生ずるように、実質的に F_3 の周波数で空間的に周期的であり第一の格子から実質

6

的に V 離れて第二部材に対して固定位置に設けられた構造体を有しており、前記像に应答する光検出器手段とを有する相対変位測定装置によつて達成される。

本明細書中「光」という用語は可視光線並びに紫外線及び赤外線を含むものとする。

本発明の相対変位測定装置では、第一部材と第二部材との間の相対変位によつて、像と第二部材との間により大きな相対変位が生ずる。

一般に前記第一の格子、光学的物体を構成する前記第二の格子、光検出器手段の周期的構造体はすべて前記所与の平面に実質的に平行な平面内に位置するように配設される。

本発明の第二発明の装置のうち、例えば、前記第一の格子が反射格子からなり、光学的物体を構成する前記第二の格子と光検出器手段の周期的構造体とが実質的に同一平面にある (すなわち $u=V$) ような好ましい一具体例の装置では、前記第一の格子、光学的物体を構成する前記第二の格子、及び周期的構造体の空間周波数が実質的に同一である (すなわち $f_1=f_2=F_3$)。この装置では、 $(u+V)/u=2$ 故、周波数の F_3 の像と第二部材との間の相対変位は第一部材と第二部材との間の相対変位の2倍の大きさになり、従つて格子の1周期分に対応する第一部材と第二部材との間の相対変位によつて光検出器手段で2周期分の周期的な出力変化が生ずる。

次に添付図面を参照して本発明を詳細に説明する。

本発明の基本原理は概念的に最も単純な第1図の形に示される。第1図に示す光学系において、ランプ1からの光はレンズ2により集光され、三つの線形の透過格子3、4、5を通過し、光電池6に達する。第二の格子としての格子3及び第一の格子としての格子4は、相互に距離 u 隔てられた平行面内に夫々の線が平行になるように設けられている。第一の格子4は空間周波数 f_1 を有し、第二の格子3は空間周波数 f_2 を有する。格子3は格子4を散漫に照射する空間的に周期的な光学的物体を規定している。以上において第二の格子3をコリメートされていない光で照らす照射手段は、ランプ1及びレンズ2からなる。

まず、格子4の結像特性を考える際、ランプ1及びレンズ2からコリメートされていない光の周

波数が格子 3, 4 の空間周波数 f_2, f_1 とは比較にならない程大きく、格子 4 による回折効果が無視できる状態であるとする。すなわち本発明のうち第一発明に対応する場合について考える。この場合光は直線的に伝播し、格子 4 から距離 v にあり格子 4 に平行な面内に格子 4 の影の像が実像の形で形成される。ここで距離 v は次の式(1)により決定される。

$$f_2/f_1 = v / (u + v) \quad (1)$$

この影の像は次の式(2)により与えられる空間周波数 f_3 を有する。

$$f_3/f_1 = u / (u + v) \quad (2)$$

尚、式(1), (2)よりして $f_3 = f_1 - f_2$ 故、 $f_1 > f_2$ である。

格子 3 に対して格子 4 を、格子 3, 4 の面に平行に且つ格子 3, 4 の線に垂直に大きさ d だけ変位させると、影像が大きさ D だけ平行に変位する。ここで影像の変位の大きさ D は次の式(3)により決定される。

$$D = d (1 + v / u) \quad (3)$$

従つて空間周波数が f_3 の格子 5 を形成し、この格子 5 を、格子 3, 4 の線と格子 5 の線とが平行になるように格子 3, 4 に平行に格子 4 から v の距離に格子 3 に対して固定的に設置すると、格子 3 及び 4 が格子面に平行に且つ格子の線に垂直に相対的に移動されるにつれ、格子 4 により形成される影像が格子 5 と相互作用して光電池 6 に達する光の強度が周期的に変化する。更に、格子 5 が格子 3 に対して静止している故、光電池 6 の出力から前記相対運動の大きさを求め得る。

以上において、光検出器手段は空間的に周期的な構造体としての格子 5 と光電池 6 とからなる。

式(1)から格子 3, 4 の空間周波数が同一である場合、影像が形成されないことが判る。また f_1 が f_2 の 2 倍であれば v は u に等しいことが明らかであり、この場合式(2)から f_3 は f_2 に等しいことが判る。

$u = v, \frac{1}{2}f_1 = f_2 = f_3$ なる装置の場合第 1 図に示す光学系を変更して格子 4 の代りに反射格子 7 を使用して影像面を格子 3 の面と一致させると都合がよい。この結果、上記光学系は三つの格子を有する構造から単に二つの格子のみを有する構造に縮小され、これらの格子 3, 7 のうちの一方の格子 3 の二つの機能(第 1 図の格子 3 と格子 5 の

機能)を果たす。即ち、例えば第 2 図の格子 3 は空間的に周期的な光学的物体を構成する第二の格子として働くのみならず影像と相互作用する光検出器手段の空間的に周期的な構造体として働く。この変更を加えた特定の光学系についての詳細は後述する。

格子 3 に入射する光が完全にコリメートされている場合影像は全く形成されない。更に部分的にコリメートされている入射光の場合、 $\lambda(N - 1/2) / \lambda f_1, f_2$ なる距離 u に対しては良好な影像は形成されない。ここで N は整数であり、 λ は使用する光の平均波長である。一般に距離 v が増加するにつれ、光が直進するという仮定は次第に有効性を失なうため、影像のコントラストは減少する。

次に、ランプ 1 及びレンズ 2 からの光の周波数が格子 3, 4 の空間周波数に匹敵する程度の大きさであり、格子 4 が回折格子として働く場合 $\lambda m \geq \frac{w^2}{2n}$ を考える。すなわち本発明のうち第二発明

に対応する場合について考える。この場合、干渉像が形成される。この像は格子 4 から距離 V のところに形成され、 V は次の式(4)により決定される。

$$f_2/f_1 = 2V / (n + V) \quad (4)$$

この像は次式(5)で求められる空間周波数 F_3 を有する。

$$F_3/f_1 = 2u / (u + V) \quad (5)$$

尚、式(4), (5)よりして $F_3 = 2f_1 - f_2$ 故、 $2f_1 > f_2$ である。

式(3)と同形の式が回折格子により形成される干渉像に適用され、式(4), (5)を満たす格子 5 を格子 3 に対し固定的に設けることにより光電池 6 に達する光強度が周期的に変化する相対変位測定装置が得られる。

式(4)は、格子 3, 4 が同一の空間周波数を有する場合、 $V = u$ のところに干渉像が形成されることを示し、式(5)はこの場合干渉像が格子 3, 4 と同一の空間周波数を有することを示している。この場合も、格子 4 を反射格子に代えることにより第 1 図の光学系を変更すると便利であり、この場合も第 1 図の格子 3, 5 の機能を果たす単一の格子を使用し得る。

格子 3 への入射光が完全にコリメートされてい

る場合、干渉像は全く形成されない。従つて格子3への入射光が少なくとも部分的に散漫乃至拡散的であることが重要である。実際には、格子3を完全に拡散乃至散漫照射することは困難であり、部分的にコリメートされた光では、 $(N-1/2) / \lambda f_1, f_2$ に近い距離 u に対しては良好な干渉像は形成されないことに注意しなければならない。更に距離 u が $w^2 / 2 \lambda m$ より小さい場合、光が十分に回折されないため、形成される干渉像のコントラストに役に立たない程低い。ここで λm は使用される光の最大波長であり、 w は格子4のピッチである。

上記の第一及び第二発明の夫々の例に対応する光学系において、格子3, 4, 5は全てその線が平行になるように設けられており、従つて光強度の周期的変化を生じさせる像と格子5との相互作用は、「シャッタリング」効果 (shuttering effect) とみなされ得る。勿論、別の方法も可能である。格子4の線を格子3, 5の線に対してわずかに傾斜させてもよく、像が格子5と相互作用するとき、(複数の) モアレ縞が生成される。これは単一のモアレ縞に亘る複数の光電池により検出され得る。格子5が格子4により形成される像の空間周波数とわずかに異なる空間周波数を有していてもよく、この場合には、バーニヤ縞として知られる縞が生成され、モアレ縞と同様な方法で検出され得る。

上記の説明は又回転変位の測定に使用される放射状格子の場合にも適用でき、この場合、量 f_1, f_2, w は格子系の平均半径での適切なパラメータを示す。しかし乍ら、この場合、線形格子に比較して、系の使用可能光学的アパーチャ上のピッチ変化に応じる程度に像のコントラストが悪くなる。

第2図及び第3図は第1図の光学系の二種類の變形例を示すもので、透過格子4の代りに反射格子7を使用している。第2図の光学系において、ランプ1からの光はレンズ2により集光され、ハーフミラー8で反射され、透過型指標格子3を通過して反射型スケール格子7に入射される。格子7からの反射光は再び格子3を通過し、ハーフミラー8を透過して光電池6に入る。

第3図の光学系では、ランプ1からの光は鏡9で反射され、レンズ2で集光され、指標格子3を

通過した後、反射スケール格子7に入射される。格子7からの反射光は再び格子3を通過し、レンズ10及び鏡11を介して光電池6に達する。光学要素1, 9, 2, 3, 10, 11, 6は固定的に組み立てられた読取りヘッド12を構成している。読取ヘッド12と反射格子7とからなる相対変位測定装置では、読取ヘッド12と格子7との間の横方向相対運動が測定される。これらの両光学系に於いて、格子3, 7の空間周波数及びこれら相互の間隔は勿論上記の原理に従つて式(1)及び(2)、又は式(4)及び(5)を満たすように選択されている。

第2図及び第3図に示す装置の變形に於いて、光検出手段は格子3と光電池6との組み合わせにより効果的に構成され、必要であれば、透過格子と空間的に周期的な光検出器の機能とを結合した単一の周期的構造体に代えることが可能である。この構造体は格子7により反射された光を受けるために格子の線と夫々協働する感光素子列からなる。前記構造体は例えば英国特許第1231029号明細書に述べられている。これらの變形で、透過格子の照射に使われる装置は勿論第1図の格子3の照射に使用した装置と同様なものでもよい。

透過又は反射格子のいずれかを使つて結像させる装置に原則として適用可能な別の變形としては、別個の光源で照射される格子3を、空間的に周期的な光学的物体を構成する発光素子列を内蔵する装置に置き代えることである。反射格子を用いて結像させる場合、この発光素子列は、該発光素子と感光素子とを交互に並べてなる空間的に周期的な構造体の一部分になつていてもよい。

次に第4図及び第5図に示す本発明の具体例について説明する。この装置は第二部材としての部材14に固定的に設けられた読取りヘッド13と、第一部材としての部材17の機械加工面16に固定的に設けられた線形の反射スケール格子15とからなる。部材14は格子15の面に平行に且つ該格子ラインに垂直に部材17に対して移動可能である。案内ねじ19の動作により部材14が部材17に形成された溝18内をすべり、その結果読取りヘッド13が格子15に対して移動し、部材14, 17間の相対運動の程度及び方向が測定可能となる。この相対運動は制御の対象である工作機械の構成要素の運動と一致させてもよ

11

い。

第5図は第4図の読み取りヘッド13の部分を示す透視図であり、線形の透過型指標格子20は格子15、20間の間隔が一樣になるように格子15に対向して読み取りヘッド13に装着されている。格子20の背面には4つの同一ユニット21が適当な接着剤により固定されている。各ユニット21は合成樹脂でシールドされた固体発光器22と固体光検出器23とを有している。更に、発光器22に電力を供給し光検出器23から出力信号をとりだす導線が設けられている。光源22から出た光は格子20を通り、格子20の面に像が形成されるように格子15で反射される。格子20を通過した反射光は光検出器23に達する。各光検出器23は基本的に各検出器23が属するユニット21内の光源22から出た光を受け取るため、部材14、17間に相対運動が生じた場合、各光検出器23の出力は周期的に変化する。

格子20はその線が格子15の線に対してわずかに傾斜した状態で読み取りヘッド13内に設けられており、格子15によつて形成された像が格子20と相互作用したとき、この像はモアレ縞を生じさせる。

4つの光検出器23が単一のモアレ縞に亘り、部材14、17間の相対運動によつて生じる4つの光検出器23の検出出力の周期的変化の位相が順次90°増で変化するように、ユニット21は格子20上に設置されている。

第6図は光検出器23の出力を用いて部材14、17間の相対運動の方向と大きさを決定する1方法を示す図である。第6図の回路において、光検出器23の出力は整合された増幅器24によつて増幅され、位相順にみて第1及び第3の光検出器23の増幅出力は差動回路25で減算される。回路25の出力は信号Aを発生する矩形波用のシュミットトリガ26に入る。第2及び第4の光検出器23の増幅出力は差動回路27で減算され、回路27の出力は信号Bを出力するシュミットトリガ28によつて矩形波化される。部材14、17間の相対運動の結果生ずる各信号A、Bの大きさの変化は90°ずれた位相関係にある。信号A及びBは一對のJ-Kフリップフロップ29、30に加えられる。信号Aはフリップフロップ29のクロック入力31とフリップフロップ3

12

0のリセット入力32に与えられ、信号Bはフリップフロップ29のリセット入力33とフリップフロップ30のクロック入力34に与えられる。各フリップフロップ29、30のJ及びK入力論理1の維持された端子35に接続されている。フリップフロップ29のQ出力は両方向計数器37の「アップ」入力36に入り、フリップフロップ30のQ出力は計数器37の「ダウン」入力38に入る。計数器37の出力は適当な文字及び数字表示装置39により表示される。

上記方法でフリップフロップ29及び30に信号A及びBを送ると、部材14、17間の相対運動の一方方向に対して単に1個のみのフリップフロップが計数器37に出力を出し得る。他方のフリップフロップではクロック入力に信号が発生する間、リセット入力に信号が現われ従つてそのQ出力の変化を抑制するからである。フリップフロップ29、30のいずれが出力を与えるかは、部材14、17間の相対運動の向きにより決定される。信号AとBとの位相差の向きに依存している。適切なフリップフロップにより計数器37に送られるパルス数は勿論相対運動の程度に比例する。

第4図及び第5図に示す装置において、格子15及び20の空間周波数及びその間隔は当然上記の原理に従つて式(1)及び(2)、又は式(4)及び(5)を満たすように選択されている。例えば光源22として、ピークが波長940ナノメートルにあるガリウムヒ素赤外線用発光ダイオードを使用し、光検出器23としてN-P-Nシリコンフォトトランジスタを使用する際、干渉像の場合(第二発明に対応する例)は、格子15及び20が100ライン/mmの空間周波数を有し且つその間隔が2cm離れているのが代表的であり、影像の場合(第一発明に対応する例)には格子15及び20の夫々の空間周波数が100ライン/cm及び50ライン/cmで、格子15、20間の間隔を2cmあけた配列が適当である。

以上のとおり、本発明相対変位測定装置では、第二の格子をコリメートされていない光で照らす照射手段が設けられており、第二の格子が空間的に周期的な光学的物体を規定するように第二の格子及び照射手段が構成されているために、

第二の格子が光学的物体として散漫な光を出し、しかも、前記光学的物体の、第一及び第二部

13

材の相対運動方向に空間的に周期的であり且つ第一の格子から実質的に一様に離間した実像が第一の格子によつて形成されるように第一及び第二の格子が構成されているために、

空間的に周期的な光学的物体として働く第二の格子からの散漫な光が第一の格子によつて実像として結像され得る。

本発明の相対変位測定装置では、第二の格子を散漫な光を出す光学的物体として機能させ、第一の格子を結像手段として機能させるようにしたため、第二部材に対する第一部材の相対変位を第二部材に対する像の拡大された変位に変換し得る。

しかも、本発明の相対変位測定装置では、光検出手段が、第二部材に対して固定位置に設けられた前記運動方向に空間的に周期的な構造体を有し

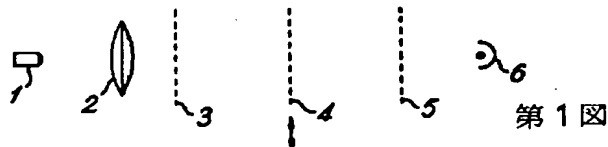
14

ており、実像を形成した光を受け取るべく構成されているために、前記の拡大された像変位を、周期的に変動する出力の形で出した得、高精度の相対変位測定を可能にしている。

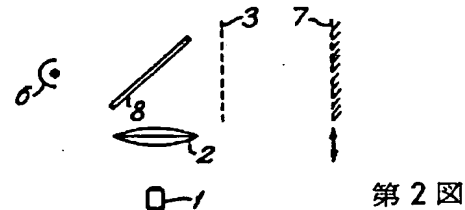
5 図面の簡単な説明

第1図は本発明の基本原理を示す説明図、第2図及び第3図はそれぞれ第1図の配列の変形態様を示す説明図、第4図は本発明に係る装置の概略透視図、第5図は第4図の装置の一部の概略透視図、第6図は第4図の装置に使用する電気回路の概略を示す回路図である。

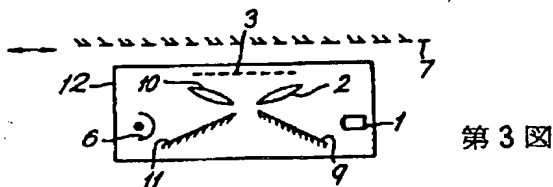
1, 2 2……光源、2, 10……レンズ、3, 4, 5, 7, 15, 20……格子、6, 23……光検出器、8, 9, 11……鏡、12, 13……読取ヘッド。



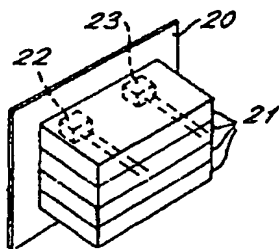
第1図



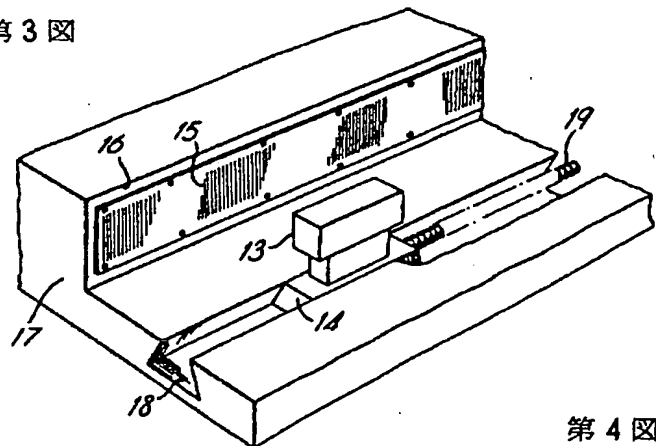
第2図



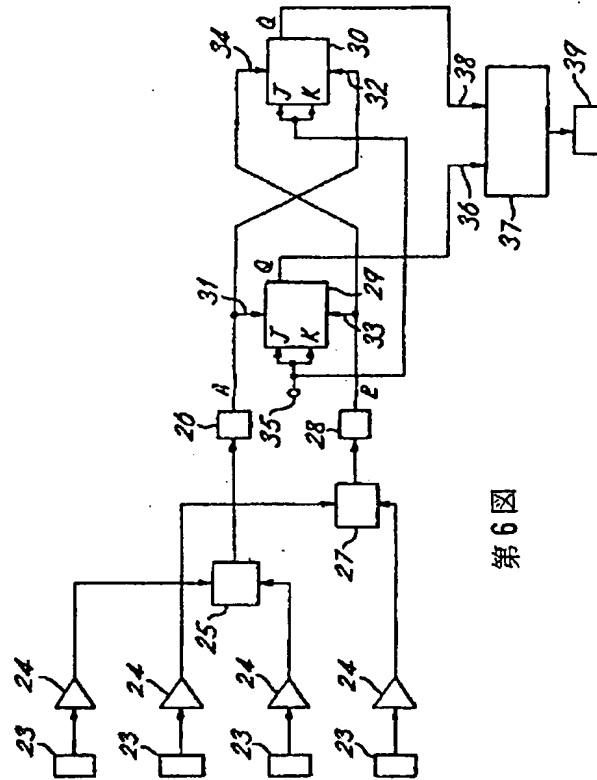
第3図



第5図



第4図



第6図

塩電極、又は

(ii) 導電性層と、最低2種類の水溶性レドックスカツプル塩を含むレドックスカツプル層とからなるレドックス=カツプル電極

のいずれか一方からなる参照電極を、前記水溶性塩及び親水性重合体バインダーをその溶媒に溶解した溶液を前記した金属の導電性層をその金属の不溶性塩の層と接触させたもの又は前記導電性層に、塗布又は積層し、そして乾燥することにより形成し、次いで

(b) 乾燥状態にある前記参照電極に、イオンキャリア、キャリア溶媒及び疎水性バインダーから成る疎水性のイオン選択性膜を、塗布又は積層により適用して、該イオン選択性膜が被検試料と接触させるべき部分が予め定めた均一な厚さで前記参照電極と均質に接触するようにイオン選択性膜を形成する

ことを含んで成ることを特徴とする乾式操作可能なイオン選択性電極の製法。」と補正する。

2 第7欄38行～第8欄16行「この発明……提供される。」を「この発明に従えば、

(a)(i) 金属の導電性層をその金属の不溶性塩の層と接触させたものと、アニオンとして前記金属塩層のアニオンを有する水溶性塩を含む電解質層とからなる金属/金属塩電極、又は

(ii) 導電性層と、最低2種類の水溶性レドックスカツプル塩を含むレドックスカツプル層とからなるレドックスカツプル電極

のいずれか一方からなる参照電極を、前記水溶性塩及び親水性重合体バインダーをその溶媒に溶解した溶液を前記した金属の導電性層をその金属の不溶性塩の層と接触させたもの又は前記導電性層に塗布又は積層し、そして乾燥することにより形成し、次いで

(b) 乾燥状態にある前記参照電極に、イオンキャリア、キャリア溶媒及び疎水性バインダーから成る疎水性のイオン選択性膜を塗布又は積層により適用して該イオン選択性膜が被検試料と接触させるべき部分が予め定めた均一な厚さで前記参照電極と均質に接触するようにイオン選択性膜を形成することを含んで成る乾式操作可能なイオン選択性電極の製法が提供される。」と補正する。

特許法第64条及び特許法第17条の3の規定による補正の掲載

昭和50年特許願第31737号(特公昭60-23282号、昭60.6.6発行の特許公報6(1)-28[406]号掲載)については特許法第64条及び特許法第17条の3の規定による補正があつたので下記のとおり掲載する。

特許第1451052号

Int. Cl.⁴
G 01 B 11/00
G 01 D 5/38

識別記号 庁内整理番号
7625-2F
8104-2F

記

1 「特許請求の範囲」の項を「1 一つの平面内での自由度1の運動に対応する様態での第二部材に対する第一部材の相対変位を測定するための装置であつて、

距離uだけ一様に離れて夫々が第一及び第二部材に対して固定位置に設けられており、前記運動方向に夫々周波数 f_1 及び f_2 (ただし $2f_1 > f_2$)で空間的に周期的に線を有している第一及び第二の格子と、

$f_2 / f_1 = 2V / (u + V)$ で規定される距離Vだけ第一の格子から一様に離れたところに、 $F_2 / f_1 = 2u / (u + V)$ で規定される周波数 F_2 で前記方向に空間的に周期的であり、第一及び第二部材間に前記様態での運動が生じた際第二部材に対して前記様態で動く、光学的物体としての第二の格

子の回折実像を第一の格子によつて生ぜしめるべく、 f_1 及び f_2 に匹敵する程度の周波数であり、第一の格子のピッチを W とした場合最大波長 λ_m が $u \geq W - 2 / 2 \lambda_m$ で規定されるコリメートされていない光で第二の格子を照らす照射手段と、

第一及び第二部材間に相対運動が生じた際出力に周期的変化を生ずるように、実質的に F_2 の周波数で空間的に周期的であり第一の格子から実質的に V 離れて第二部材に対して固定位置に設けられた構造体を有しており、前記像に応答する光検出器手段と

を有する相対変位測定装置。」と補正する。

2 「発明の詳細な説明」の項を「本発明は一平面に於ける自由度 1 の直線運動又は回転運動に対応する状態での第一部材の第二部材に対する変位を測定する装置に係り、より詳細には、度量衡的格子 (metrological grating) を利用するこの種の装置に係る。

この種の種々の装置が工作機械の制御等の分野に使用されている。従来この種の装置は、相対変位を測定すべき第一及び第二部材の夫々に対して固定位置に設けられた同一周波数又はほぼ同一周波数の一対の格子を有する。この一対の格子のうち一方の格子は透過性であり、他方の格子は透過性又は反射性である。一対の格子の組合体は適当な光源で照射される。更に、二つの格子の相対運動に応じて変化する格子の組合体による透過又は反射光の変化に応答する手段が設けられている。

この従来の装置には設計上乃至使用上多くの問題がある。特に高度にコリメートして格子系を照射する必要があり、格子間の間隔を非常に正確に維持する必要があり、ときには格子間の間隔を非常に小さくする必要がある。細かい格子を使用する場合、特にこれらの問題が避け難い。一般には測定に必要な分解能を直接与える格子より粗い格子が使用され、必要な精度乃至分解能の結果を得るべく補間法が用いられるが、この補間自体が誤差の原因になる虞れがある。

本発明は前記した点に鑑みなされたものであり、その目的とするところは、空間的に周期的な光学的物体 (すなわちコリメートされていない光を出す) に対する格子の光学的結像特性を利用するという考え方に立脚して、前記した問題点の少なくとも一部を解決し得、補間法を用いることなくしても所望の分解能を有する比較的簡単で容易に製造され得る相対変位測定装置を提供することにある。

前記考え方に従う本発明の相対変位測定装置は、原理的には、

一つの平面内での自由度 1 の運動に対応する状態での第二部材に対する第一部材の相対変位を測定するための装置であつて、

相互に実質的に一様な間隔となるように夫々が第一及び第二部材に対して固定位置に設けられており、前記運動方向に空間的に周期的に線を有している第一及び第二の格子と、

第二の格子をコリメートされていない光で照らす照射手段と、光検出器手段とからなり、

前記第一及び第二の格子並びに前記照射手段は、第二の格子によつて規定された空間的に周期的な光学的物体の、前記運動方向に空間的に周期的であり且つ第一の格子から実質的に一様に離間した実像が前記第一の格子によつて形成されるように、且つ

第一及び第二部材間に前記相対運動が生じた際、前記実像が一つの平面内での自由度 1 の運動に応じて第二部材に対して相対運動するように配置されており、

前記光検出器手段は、前記第二部材に対して固定位置に設けられた前記運動方向に空間的に周期的な構造体を有しており、前記実像を形成している光を受け取るべく構成されており、且つ第一及び第二部材間に前記相対運動が生じた際、前記構造体が前記像と相互作用して光検出手段の出力が周期的に変動するように構成されている、相対変位測定装置からなる。

本発明によれば、前記目的は、

一つの平面内での自由度 1 の運動に対応する状態での第二部材に対する第一部材の相対変位を測定するための装置であつて、

距離 u だけ一様に離れた夫々が第一及び第二部材に対して固定位置に設けられており、前記運動方向に夫々周波数 f_1 及び f_2 (ただし $2 f_1 > f_2$) で空間的に周期的に線を有している第一及び第二の格子と、

$f_2 / f_1 = 2 V / (u + V)$ で規定される距離 V だけ第一の格子から一様に離れたところに、

$F_2 / f_1 = 2 u / (u + V)$ で規定される周波数 F_2 で前記方向に空間的に周期的であり、第一及び

第二部材間に前記様態での運動が生じた際第二部材に対して前記様態で動く、光学的物体としての第二の格子の回折実像を第一の格子によつて生ぜしめるべく、 f_1 及び f_2 と同程度の周波数であり、第一の格子のピッチを W とした場合最大波長 λ_m が $u \geq W \quad 2/2 \lambda_m$ で規定されるコリメートされていない光で第二の格子を照らす照射手段と、

第一及び第二部材間に相対運動が生じた際出力に周期的変化を生ずるように、実質的に F_3 の周波数で空間的に周期的であり第一の格子から実質的に V 離れて第二部材に対して固定位置に設けられた構造体を有しており、前記像に応答する光検出器手段とを有する相対変位測定装置によつて達成される。

本明細書中「光」という用語は可視光線並びに紫外線及び赤外線を含むものとする。

本発明の相対変位測定装置では、第一部材と第二部材との間の相対変位によつて、像と第二部材との間により大きな相対変位が生じる。

一般に前記第一の格子、光学的物体を構成する前記第二の格子、光検出器手段の周期的構造体はすべて前記所与の平面に実質的に平行な平面内に位置するように配設される。

本発明の装置のうち、例えば、前記第一の格子が反射格子からなり、光学的物体を構成する前記第二の格子と光検出器手段の周期的構造体とが実質的に同一平面にある（すなわち $u = V$ ）ような好ましい一具体例の装置では、前記第一の格子、光学的物体を構成する前記第二の格子、及び周期的構造体の空間周波数が実質的に同一である（すなわち $f_1 = f_2 = F_3$ ）。この装置では、 $(u + V)/u = 2$ 故、周波数 F_3 の像と第二部材との間の相対変位は第一部材と第二部材との間の相対変位の 2 倍の大きさになり、従つて格子の 1 周期分に対応する第一部材と第二部材との間の相対変位によつて光検出器手段で 2 周期分の周期的な出力変化が生ずる。

次に添付図面を参照して本発明を詳細に説明する。

本発明の基本原理は概念的に最も単純な第 1 図の形に示される。第 1 図に示す光学系において、ランプ 1 からの光はレンズ 2 により集光され、三つの線形の透過格子 3, 4, 5 を通過し、光電池 6 に達する。第二の格子としての格子 3 及び第一の格子としての格子 4 は、相互に距離 u 隔てられた平行面内に夫々の線が平行になるように設けられている。第一の格子 4 は空間周波数 f_1 を有し、第二の格子 3 は空間周波数 f_2 を有する。格子 3 は格子 4 を散漫に照射する空間的に周期的な光学的物体を規定している。以上において第二の格子 3 をコリメートされていない光で照らす照射手段は、ランプ 1 及びレンズ 2 からなる。

ランプ 1 及びレンズ 2 からの光の周波数は格子 3, 4 の空間周波数に匹敵する程度の大きさであり、格子 4 は回折格子として働く（ $\lambda_m \geq W \quad 2/2 u$ ）ので、干渉像が形成される。この像は格子 4 から距離 V のところに形成され、 V は次の式(1)により決定される。

$$f_2 / f_1 = 2V / (u + V) \dots\dots\dots (1)$$

この像は次式(2)で求められる空間周波数 F_3 を有する。

$$F_3 / f_1 = 2u / (u + V) \dots\dots\dots (2)$$

尚、式(1)、(2)よりして $F_3 = 2f_1 - f_2$ 故、 $2f_1 > f_2$ である。

式(1)、(2)を満たす格子 5 を格子 3 に対して固定的に設けることにより、光電池 6 に達する光強度が周期的に変化する相対変位測定装置が得られる。

式(1)は、格子 3, 4 が同一の空間周波数を有する場合、 $V = u$ のところに干渉像が形成されることを示し、式(2)はこの場合干渉像が格子 3, 4 と同一の空間周波数を有することを示している。この場合も、格子 4 を反射格子に代えることにより第 1 図の光学系を変更すると便利であり、格子 3, 5 の機能を果たす単一の格子を使用し得る。

格子 3 への入射光が完全にコリメートされている場合、干渉像は全く形成されない。従つて格子 3 への入射光が少なくとも部分的に散漫乃至拡散的であることが重要である。実際には、格子 3 を完全に拡散乃至散漫照射することは困難であり、部分的にコリメートされた光では、 $(N - 1/2) / \lambda f_1$ f_2 に近い距離 u に対しては良好な干渉像は形成されないことに注意しなければならない。更に距離 u が $W \quad 2/2 \lambda_m$ より小さい場合、光が十分に回折されないため、形成される干渉像のコントラストは役に立たない程低い。ここで λ_m は使用される光の最大波長であり、 W は格子 4 のピッチである。

上記の例に対応する光学系において、格子 3, 4, 5 は全てその線が平行になるように設けられてお

り、従つて光強度の周期的変化を生じさせる像と格子 5 の相互作用は、「シャッターリング」効果 (shuttering effect) とみなされ得る。勿論、別の方法も可能である。格子 4 の線を格子 3, 5 の線に対してわずかに傾斜させてもよく、像が格子 5 と相互作用するとき、(複数の) モアレ縞が生成される。これは単一のモアレ縞に亘る複数の光電池により検出され得る。格子 5 が格子 4 により形成される像の空間周波数とわずかに異なる空間周波数を有していてもよく、この場合には、バーニヤ縞として知られる縞が生成され、モアレ縞と同様な方法で検出され得る。

上記の説明は又回転変位の測定に使用される放射状格子の場合にも適用でき、この場合、量 f_1, f_2, W は格子系の平均半径での適切なパラメータを示す。しかし乍ら、この場合、線形格子に比較して、系の使用可能光学的アパーチャ上のピッチ変化に応じる程度に像のコントラストが悪くなる。

第 2 図及び第 3 図は第 1 図の光学系の二種類の変形例を示すもので、透過格子 4 の代りに反射格子 7 を使用している。第 2 図の光学系において、ランプ 1 からの光はレンズ 2 により集光され、ハーフミラー 8 で反射され、透過型指標格子 3 を通つて反射型スケール格子 7 に入射される。格子 7 からの反射光は再び格子 3 を通り、ハーフミラー 8 を透過して光電池 6 に入る。

第 3 図の光学系では、ランプ 1 からの光は鏡 9 で反射され、レンズ 2 で集光され、指標格子 3 を透過した後、反射スケール格子 7 に入射される。格子 7 からの反射光は再び格子 3 を通り、レンズ 10 及び鏡 11 を介して光電池 6 に達する。光学要素 1, 9, 2, 3, 10, 11, 6 は固定的に組み立てられた読取ヘッド 12 を構成している。読取ヘッド 12 と反射格子 7 とからなる相対変位測定装置では、読取ヘッド 12 と格子 7 との間の横方向相対運動が測定される。これらの両光学系に於いて、格子 3, 7 の空間周波数及びこれら相互の間隔は勿論上記の原理に従つて式(1)及び(2)を満たすように選択されている。

第 2 図及び第 3 図に示す装置の変形に於いて、光検出手段は格子 3 と光電池 6 との組み合わせにより効果的に構成され、必要であれば、透過格子と空間的に周期的な光検出器の機能とを結合した単一の周期的構造体に代えることが可能である。この構造体は格子 7 により反射された光を受けるために格子の線と夫々協働する感光素子列からなる。前記構造体は例えば英国特許 1,231,029 号明細書に述べられている。これらの変形で、透過格子の照射に使われる装置は勿論第 1 図の格子 3 の照射に使用した装置と同様なものでもよい。

透過又は反射格子のいずれかを使つて結像させる装置に原則として適用可能な別の変形としては、別の光源で照射される格子 3 を、空間的に周期的な光学的物体を構成する発光素子列を内蔵する装置に置き代えることである。反射格子を用いて結像させる場合、この発光素子列は、該発光素子と感光素子とを交互に並べてなる空間的に周期的な構造体の一部分になつていてもよい。

次に第 4 図及び第 5 図に示す本発明の具体例について説明する。この装置は第二部材としての部材 14 に固定的に設けられた読み取りヘッド 13 と、第一部材としての部材 17 の機械加工面 16 に固定的に設けられた線形の反射スケール格子 15 とからなる。部材 14 は格子 15 の面に平行に且つ該格子ラインに垂直に部材 17 に対して移動可能である。案内ねじ 19 の動作により部材 14 が部材 17 に形成された溝 18 内をすべり、その結果読み取りヘッド 13 が格子 15 に対して移動し、部材 14, 17 間の相対運動の程度及び方向が測定可能となる。この相対運動は制御の対象である工作機械の構成要素の運動と一致させてもよい。

第 5 図は第 4 図の読み取りヘッド 13 の部分を示す透視図であり、線形の透過型指標格子 20 は格子 15, 20 間の間隔が一樣になるように格子 15 に対向して読み取りヘッド 13 に装着されている。格子 20 の背面には 4 つの同一ユニット 21 が適当な接着剤により固定されている。各ユニット 21 は合成樹脂でシールドされた固体発光器 22 と固体光検出器 23 とを有している。更に発光器 22 に電力を供給し光検出器 23 から出力信号をとりだす導線が設けられている。光源 22 から出た光は格子 20 を通り、格子 20 の面に像が形成されるように格子 15 で反射される。格子 20 を通過した反射光は光検出器 23 に達する。各光検出器 23 は基本的に各検出器 23 が属するユニット 21 内の光源 22 から出た光を受け取るため、部材 14, 17 間に相対運動が生じた場合、各光検出器 23 の出力は周期的に変化する。

格子 20 はその線が格子 15 の線に対してわずかに傾斜した状態で読み取りヘッド 13 内に設けられ

ており、格子 15 によつて形成された像が格子 20 と相互作用したとき、この像はモアレ縞を生じさせる。

4 つの光検出器 23 が単一のモアレ縞に亘り、部材 14, 17 間の相対運動によつて生じる 4 つの光検出器 23 の検出出力の周期的変化の位相が順次 90° 増で変化するように、ユニット 21 は格子 20 上に設置されている。

第 6 図は光検出器 23 の出力を用いて部材 14, 17 間の相対運動の方向と大きさを決定する 1 方法を示す図である。第 6 図の回路において、光検出器 23 の出力は整合された増幅器 24 によつて増幅され、位相順にみて第 1 及び第 3 の光検出器 23 の増幅出力は差動回路 25 で減算される。回路 25 の出力は信号 A を発生する矩形波用のシュミットトリガ 26 に入る。第 2 及び第 4 の光検出器 23 の増幅出力は差動回路 27 で減算され、回路 27 の出力は信号 B を出力するシュミットトリガ 28 によつて矩形波化される。部材 14, 17 間の相対運動の結果生ずる各信号 A, B の大きさの変化は 90° ずれた位相関係にある。信号 A 及び B は一對の J-K フリップフロップ 29, 30 に加えられる。信号 A はフリップフロップ 29 のクロック入力 31 とフリップフロップ 30 のリセット入力 32 に与えられ、信号 B はフリップフロップ 29 のリセット入力 33 とフリップフロップ 30 のクロック入力 34 に与えられる。各フリップフロップ 29, 30 の J 及び K 入力は論理 1 に維持された端子 35 に接続されている。フリップフロップ 29 の Q 出力は両方向計数器 37 の「アップ」入力 36 に入り、フリップフロップ 30 の Q 出力は計数器 37 の「ダウン」入力 38 に入る。計数器 37 の出力は適当な文字及び数字表示装置 39 により表示される。

上記方法でフリップフロップ 29 及び 30 に信号 A 及び B を送ると、部材 14, 17 間の相対運動の一方方向に対して単に 1 個のみのフリップフロップが計数器 37 に出力を出し得る。他方のフリップフロップではクロック入力に信号が発生する間、リセット入力に信号が現われ従つてその Q 出力の変化を抑制するからである。フリップフロップ 29, 30 のいずれが出力を与えるかは、部材 14, 17 間の相対運動の向きにより決定される信号 A と B との位相差の向きに依存している適切なフリップフロップにより計数器 37 に送られるパルス数は勿論相対運動の程度に比例する。

第 4 図及び第 5 図に示す装置において、格子 15 及び 20 の空間周波数及びその間隔は当然上記の原理に従つて式(1)及び(2)を満たすように選択されている。例えば光源 22 として、ピーク波長 940 ナノメートルのガリウムヒ素赤外線用発光ダイオードを使用し、光検出器 23 として N-P-N シリコンフォトトランジスタを使用する際には、格子 15 及び 20 が 100 ライン/mm の空間周波数を有し且つその間隔が 2 cm 離れているのが適当である。

以上のとおり、本発明相対変位測定装置では、第二の格子をコリメートされていない光で照らす照射手段が設けられており、第二の格子が空間的に周期的な光学的物体を規定するように第二の格子及び照射手段が構成されているために、

第二の格子が光学的物体して散漫な光を出し、

しかも、前記光学的物体の、第一及び第二部材の相対運動方向に空間的に周期的であり且つ第一の格子から実質的に一様に離間した実像が第一の格子によつて形成されるように第一及び第二の格子が構成されているために、

空間的に周期的な光学的物体として働く第二の格子からの散漫な光が第一の格子によつて実像として結像される。

本発明の相対変位測定装置では、第二の格子を散漫な光を出す光学手物体として機能させ、第一の格子を結像手段として機能させるようにしたため、第二部材に対する第一部材の相対変位を第二部材に対する像の拡大された変位に変換し得る。

しかも、本発明の相対変位測定装置では、光検出手段が、第二部材に対して固定位置に設けられた前記運動方向に空間的に周期的な構造体を有しており、実像を形成した光を受け取るべく構成されているために、前記の拡大された像変位を、周期的に変動する出力の形で出し得、高精度の相対変位測定を可能にしている。」と補正する。

3 「図面の簡単な説明」の項を「第 1 図は本発明の基本原理を示す説明図、第 2 図及び第 3 図はそれぞれ第 1 図の配列の変形態様を示す説明図、第 4 図は本発明に係る装置の概略透視図、第 5 図は第 4 図

昭 63. 9. 14 発行

の装置の一部の概略透視図、第 6 図は第 4 図の装置に使用する電気回路の概略を示す回路図である。

1, 22……光源、2, 10……レンズ、3, 4, 5, 7, 15, 20……格子、6, 23……光検出器、8, 9, 11……鏡、12, 13……読取ヘッド。」と補正する。